

Sticklingsetablering av *Sedum* spp. för gröna tak

- Biokol som organiskt material i substrat.

Cutting establishment of Sedum spp. for green roof –

biochar as organic material in the substrate



Sedum spurium med bildade rötter på substrat med 6 viktprocent biokol. Foto: Erika Weström

Författare: Erika Weström, Hortonomprogrammet

Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, 15hp

Landskapsutveckling, LTJ-fakulteten,
Sveriges lantbruksuniversitet

Alnarp, 2010



Författare: Erika Weström, Hortonomprogrammet

Titel: Sticklingsetablering av *Sedum* spp. för gröna tak - Biokol som organiskt material i substrat.

Engelsk titel: Cutting establishment of *Sedum* spp. for green roof –
biochar as organic material in the substrate

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

LTJ-fakulteten, Landskapsutveckling

Nyckelord: gröna tak, substrat, biokol, *Sedum album*, *Sedum spurium*,

Handledare: Tobias Emilsson, Landskapsutveckling

Examinator: Hans Lindqvist, Område hortikultur.

Kurstitel: Examensarbete för Hortonomprogrammet

Kurskod: EX 0369

Nivå: Grund C, 15 hp

Ämne: Biologi

Alnarp, Juli, 2010

Serienamn: Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten

TACK

Först och främst vill jag rikta ett stort tack till min handledare Tobias Emilsson för värdefulla kommentarer samt för snabba och utförliga svar på mina frågor. Jag vill tacka Veg Tech och BaraMineraler för gåvor i form av sticklingsmaterial och pimpsten. Tack Dan Hagstedt för guidning genom MatLab och hjälp med att rita grafer. Slutligen vill jag tacka alla som på ett eller annat sätt hjälpt mig under arbetets gång.

Malmö, maj 2010

Erika Weström

Sammanfattning

Uppmärksamheten och populariteten kring vegetationstäckta så kallade gröna tak har de senaste åren ökat. De används i syfte att få in mer grönska i städer och därmed bland annat förbättra stadsklimatet och öka biodiversiteten. Syftet med detta arbete var att undersöka om egenkomponerade substrat med två olika organiska material (biokol och torv) samt två halter (3 respektive 6 vikt%) påverkade sticklingstillväxten under den första kritiska tiden av etableringen. Biokol används som markförbättrare på friland och har teoretiskt mycket av de egenskaper som krävs för ett organsikt material till substrat för gröna tak. Torv används kommersiellt som organiskt material i substrat för gröna tak. Substraten har under försöket behandlats med två vattenbehandlingar. Som referens har ett kommersiellt substrat så kallad takjord använts. Etableringen skulle efterlikna den som görs direkt på plats på taken. De växtmaterial som användes var två arter ur släktet *Sedum* spp. *S. album* och *S. spurium*. Dessa två arter används som grundväxtlighet för extensiva gröna tak. Resultatet visade att de sticklingar som vattnats har haft en signifikant ökning av längd och vikt samt fler bildade rötter än de sticklingar som inte fått vatten. Däremot fanns inga tydliga skillnader mellan de egenkomponerade substraten även om torv i vissa fall gett bättre tillväxt än biokol. Endast substraten med biokol klarade FLL:s rekommendationer för minsta andel luftfyllda porer, de hade dessutom störst porvolym.

Abstract

The popularity of vegetated, or green roofs, has grown over the past years due to their potential function of maintaining urban environment quality. The aim of this study was to investigate if substrates with different organic material, peat and charcoal, with two contents (3 or 6 weight%) influenced the growth of the cuttings during the first critical period of the establishment. Biochar is used as amendment to agricultural soils and has, theoretically, many of the properties suitable as organic content in green roof-substrates. Peat is one of the materials that is commercially used in green roof industry. The substrate has been treated with different amounts of water. One serie of treatments did not get any water after planting, the other serie got watered three times during the experiment. As a reference the commercial used substrate, roof soil, where used. The purpose of limiting watering was too emulate the establishment onsite the roofs, however, the study took place in a greenhouse. The cuttings used in the study where two species of *Sedum* spp., *S. album* and *S. spurium* these are usually used as groundcover on extensive green roofs.

The results did not show any clear differences due to the various substrates. The cuttings that were treated with more water did show a significant growth compared to those who did not get watered. Apart from the commercial roof soil there were no significant differences between the substrates, even though peat caused a higher growth than biochar. However, the substrates with biochar were the only ones in this study to pass FLL:s guidelines for least air content, they also had the highest pore volume.

Innehållsförteckning

1.1 Bakgrund.....	7
1.1.1 Arbetets Syfte och Struktur	7
1.1.2 Frågeställningar.....	8
1.1.3 Avgränsning.....	8
1.2 Teoretisk bakgrund.....	8
1.2.1 Historia och Utveckling.....	8
1.2.2 Gröna tak i städer.....	9
1.3 Anläggning och konstruktion.....	9
1.3.1 Anläggning.....	9
1.4 Substrat	10
1.4.1 Oorganiskt material.....	10
1.4.2 Organiskt material	11
1.5 Substratkomponenter i försöket.....	11
1.5.1 Pimpsten	11
1.5.2 Sand.....	11
1.5.3 Torv	11
1.6 Biokol	12
1.6.1 Biokol över tiden.....	12
1.6.2 Lämpligt organiskt material i substrat för gröna tak?.....	13
1.6.3 Takjord.....	13
1.7 Växtval.....	13
1.7.1 Etablering av växter.....	13
1.7.2 Växter anpassade för gröna tak.....	14
1.7.3 Vit fetknopp Sedum album	14
1.7.4 Kaukasiskt fetblad Sedum spurium	15
2. Material och Metoder.....	15
2.1 Material.....	15
2.1.1 Substratkomponenter.....	15
2.1.2 Växtmaterial.....	16
2.1.3 Växtplats.....	16
2.2 Genomförande	16
2.2.1 Försöksuppställning.....	17
2.2.2 Odlingskärl och Vattentillgång.....	17
2.2.3 Viktmätning av substraten.....	17
2.2.4 Slutavläsning.....	18
2.2.5 Statistisk Analys.....	18
3. Resultat.....	18
3.1 Generellt	18
3.2 Sedum album.....	20
3.2.1 Viktökning.....	20
3.2.2 Längdökning.....	21
3.2.3 Rotbildning.....	22
3.3 Sedum spurium.....	23
3.3.1 Viktökning	23
3.3.2 Längdökning.....	24
3.3.3 Rotbildning.....	25
3.4 Substratvikter	26
3.5 Övriga observationer.....	26

4. Diskussion	27
4.1 Generellt	27
4.2 Sedum album.....	27
4.3 Sedum spurium.....	28
4.4 Arterna	28
4.5 Biokol.....	29
4.6 Substrategenskaper.....	31
4.7 Felkällor och Försöksförbättring.....	31
4.8 Slutsats	33
5. Referenser	34

1.1 Bakgrund

Stor fokus i såväl den mediala debatten som inom forskning har de senaste åren legat på klimatförändringar och människans inverkan på dessa. Grönska i städer har visats bland annat kunna motverka negativa följder av klimatförändringar (Begtsson et al., 2005; Getter och Rowe, 2006; Sailor et al., 2008). Eftersom gröna tak är ett medel att få in grönska i städer har uppmärksamheten och populariteten kring dem ökat.

Det har gjorts relativt mycket forskning kring gröna taks påverkan av stadsmiljön. Fokus har framför allt varit inom områdena förbättrad dagvattenhantering, ökad biodiversitet och sänkning av stadstemperaturen (Emilsson, 2006).

För att få ett funktionellt grönt tak behövs mycket kunskap kring uppbyggnaden och om växter som har förmåga att klara förhållandena på tak.

Växterna på taken är ofta mycket utsatta till följd av ett klimat med mycket solinstrålning och torka, vind och låg näringstillgång. En viktig komponent i gröna tak är därför substratet. Termen substrat innebär här, det underlag eller material som växterna på taket växer i. Ofta är det en blandning av både oorganiskt och organiskt material. Substratet måste bland annat uppfylla kraven av att väga lite, vara poröst med goda dränerande egenskaper och samtidigt ha förmåga att hålla vatten.

1.1.1 Arbetets Syfte och Struktur

Arbetet består av en litteraturstudie och en försöksdel. Syftet med litteraturdelen är att skapa en sammanfattning av forskning som gjorts om gröna tak med fokus på substrat, anläggning och växter. Beskrivningar om de organiska och oorganiska material samt växtmaterialet som används i försöket görs här. I litteraturdelen beskrivs också biokol och dess egenskaper.

Litteraturdelen ligger till grund för ett försök där fyra egenkomponerade och ett konventionellt substrat kommer att jämföras. De egenkomponerade substraten skiljer sig åt genom att de innehåller två olika organiska material, torv och biokol. Två av substraten innehåller torv i tre respektive sex viktprocent. De andra två substraten innehåller biokol i tre respektive sex viktprocent. Torv är ett organiskt material och används mycket i substrat för gröna tak. Biokol används inte i substrat för gröna tak och det testas därför i syftet att undersöka om det är ett passande organiskt material i substrat.

Pimpsten kommer att användas som huvudkomponent i de egenkomponerade substraten eftersom det har önskade egenskaper och således används i substrat för gröna tak. De egenkomponerade substraten kommer att jämföras med varandra samt med ett referenssubstrat, takjord. Takjord används konventionellt av företaget Veg Tech vid anläggning av gröna tak.

Försöket kommer att utföras med två sedumarter, vit fetknopp (*Sedum album*) och kaukasiskt fetblad (*Sedum spurium*). Dessa två arter används som grundkomponenter till gröna tak. Arterna är speciellt lämpade för ett substratdjup på endast ett par centimeter. De har en del olika egenskaper och krav vid etablering vilket gör det intressant att använda båda. De kommer inte direkt att jämföras med varandra.

Substraten kommer att behandlas med två olika vattenbehandlingsmetoder, dels vattning var femte dag (totalt tre gånger) dels ingen vattning alls. Detta görs för att försöka simulera den anläggningsmetod då etablering av sticklingar sker direkt på taken utan kontrollerad bevattning. Syftet med försöket är att undersöka om biokol kan användas som organsikt material under den första och mest kritiska tiden av etableringsprocessen samt om organisk halt och vattentillförsel påverkar sticklingarna.

1.1.2 Frågeställningar:

- Kan biokol användas som organisk material i substrat för gröna tak?
- Påverkar olika tillförsel av vatten sticklingsetablering?
- Har olika mängd organiskt material i substratet påverkan på sticklingsetablering?

1.1.3 Avgränsning

Arbetets litteraturdelen kommer att fokusera på extensiva gröna tak. Försöket kommer att utföras i växthus med kontrollerat klimat och etableringen sker således vid mer gynnsamma förhållanden än vid utomhusetablering direkt på tak. Jordanalyser av substraten kommer inte att utföras.

1.2 Teoretisk bakgrund

1.2.1 Historia och Utveckling

Idén om gröna tak har funnits länge, men utvecklingen mot de ”moderna” gröna taken började i Tyskland under mitten av nittonhundratalet. Under 80-talet ökade intresset för grönskande städer och forskningen inom ämnet tog fart, framför allt gjordes studier i Tyskland (Dunnet och Kingsbury, 2008). Populariteten har sedan dess växt runt om i världen och i Sverige slog gröna takindustrin igenom i början av 2000-talet (Emilsson, 2006). Intresset i Sverige verkar öka, framför allt av färdigetablerade så kallade sedummattor (Fransson, Pers.samtal, 2010)

När man pratar om vegetationstäckta tak används olika uttryck, bland annat pratar man om gröna tak, ekotak, vegetationstäckta tak och ibland även bruna tak. Gemensamt för dessa tak är att de är täckta av vegetation, antingen planterade eller spontanetablerade arter.

Den vanligast använda termen är gröna tak. Denna term kan vara missvisande eftersom växterna på

taken inte alltid är gröna utan ändrar färg under olika förhållanden (Emilsson, 2006).

Ett extensivt tak har ett substratdjup på 2-15 cm. Taket behöver i regel ingen skötsel och används i samma syfte som ett vanligt tak (Dunnet och Kingsbury, 2008).

Motsatsen till ett extensivt grönt tak är ett intensivt grönt tak. Ett intensivt grönt tak har ett substratdjup på mer än 15 cm vilket gör det möjligt för odling av större och mer krävande växter (Dunnet och Kingsbury, 2008). Arbetet kommer att fokusera på extensiva gröna tak, vilka ofta inte har mer än ett par centimeters substratdjup. Jag kommer, även om det i vissa fall kan vara missvisande, att använda termen gröna tak eftersom det är den term som används mest i den litteratur som behandlats i arbetet.

1.2.2 Gröna tak i städer

Gröna tak har blivit populära eftersom de i många avseenden kan förbättra stadsmiljön. Man utnyttjar bland annat växterna och substraten på taket för förbättrad dagvattenhantering. Studier har visat att avrinning från växtklädda tak är väsentligt mindre jämfört med kala tak. Detta beror på att substratet absorberar regnvattnen. Vattnet tas sedan upp av växterna och avdunstar genom växternas transpiration till atmosfären igen. Vilket leder till jämnare och mindre belastning av dagvattensystemet (Bengtsson et al., 2005).

Gröna tak används även för att motverka den så kallade urban heat island effekten. Urban heat island effekten innebär att temperaturen inne i städer är högre än i omgivande område. Denna temperaturökning uppstår till följd av bland annat värmestrålningskonservering av byggnader, luftföroreningar och fastighetsuppvärmning (Sailor et al., 2008).

Gröna tak har även en positiv inverkan på biodiversitet i städer till följd av ökad habitatarea (Dunnet och Kingsbury, 2008). Utöver den estetiska fördelen som gröna tak kan ha verkar de även ha ljuddämpande och luftrenande effekter samt fungera som isolering och skydd för underliggande tak och byggnader (Getter och Rowe, 2006).

1.3 Anläggning och konstruktion

1.3.1 Anläggning

Uppbyggnaden och konstruktionen av extensiva gröna tak är ungefär densamma. Dock kan den variera beroende på vilken vikt takkonstruktionen klarar, vilken lutning taket har samt vilken typ av växtlighet man vill använda.

Konstruktionen består av ett skyddande membran som fästs underst, på takstommen. Ovan på det läggs ett dränerande lager och sedan en fiberduk som förhindrar att material och fina partiklar från

substratet följer med ner i avrinningssystemen. Vid behov placeras även ett vattenhållande membran ovanpå det dränerande lagret. Högst upp placeras substratet (med eller utan örter) (Getter och Rowe, 2006).

1.4 Substrat

Substrat till gröna tak skiljer sig mot naturliga jordar eftersom de till största delen innehåller mineralbaserade dvs. oorganiska komponenter och enbart en liten andel organsikt material. Enligt Sailor et al. (2008) består ett typiskt substrat till gröna tak av ett lätt oorganiskt material, sand och någon form av organiskt material. Substratsammansättningen varierar dock beroende på växtval och omgivande klimat (Sailor et al., 2008). Substrat som används i Sverige är ofta baserade på naturliga jordmixer med tillsatts av lavamaterial (Emilsson, 2006).

Substratdjupet för extensiva gröna tak brukar variera från ett par cm och upp till 15 cm. De gröna tak som är anpassade för sedum och mossor brukar ha ett substratdjup på 2-3 cm (Dunnet och Kingsbury, 2008).

Enligt Forschungsgeellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau - FLL (2002) ska pimpstensbaserade substrat vid vattenmättat tillstånd ha en vikt på 13-16 kg/m² räknat på ett substratdjup av 1 cm. System med ett substratdjup på 5-15 cm brukar väga mellan 70-170 kg/m² (Dunnet och Kingsbury, 2008). För ett substrat med fler komponenter, dvs. motsvarande substraten som används i försöket, ska enligt FLL (2002) dess förmåga att hålla vatten vara minst 35 volym%. Luftinnehållet hos vattenmättat substrat skall enligt FLL (2002) vara 10 volym%.

Substrat som används till gröna tak ska ha egenskaperna:

- väga lite
- vara väl-dränerat
- vara vatten- och näringshållande
- inte förlora volym (Getter och Rowe, 2006; Dunnet och Kingsbury, 2008).

1.4.1 Oorganiskt material

Huvudkomponenten, oftast 50-80% (Sailor et al., 2008) i substratet är mineralbaserat dvs. oorganiskt och har låg vikt (Getter och Rowe, 2006). Det oorganiska materialet som används varierar beroende på vad som finns tillgängligt i anslutning till produktionsstället/landet, vad som passar det lokala klimatet samt pris och plantval (Sailor et al., 2008; Getter och Rowe, 2006). Det oorganiska materialet måste vara poröst och ha de motsägande egenskaperna av att vara dränerande och samtidigt vattenhållande. Dessutom brukar substraten innehålla sand. Sandinnehållet bör vara

mellan 0-40 % (FLL, 2002).

1.4.2 Organiskt material

Organiska material som används är bland annat torv, kompost eller återvunna material (Dunnet och Kingsbury, 2008). Organiskt material används eftersom det har goda närings- och vattenhållande samt porösa egenskaper. Organiskt material bryts ner med tiden vilket leder till en minskad substratvolym. För att undvika en allt för stor volymförlust rekommenderas därför substrat till extensiva gröna tak att innehålla maximalt 6 % organsikt material (FLL, 2002).

För stor andel organiskt material kan, förutom en minskande volym, även bidra till att substratet blir för näringsrikt (Getter och Rowe, 2006).

1.5 Substratkomponenter i försöket

1.5.1 Pimpsten

Pimpsten är ett oorganiskt material och har önskade egenskaper som substratkomponent till gröna tak. Pimpsten är lätt, har en hög porositet (70-85%), god förmåga att ta upp vatten och en god luftkapacitet (Alsanius och Krtiz, 2005). Pimpsten används som substratkomponent till gröna tak, speciellt på de platser där det finns relativt lättillgängligt, exempelvis i vissa delar av USA (Sailor et al., 2008). Isländsk pimpsten anses vara mycket ren (Alsanius och Krtiz, 2005). Pimpsten används i försöket eftersom det är ett bra material i substrat för gröna tak.

1.5.2 Sand

Sand används ofta som substratkomponent och är även det ett oorganiskt material. Sand används i kombination med andra oorganiska material, exempelvis pimpsten, för att skapa ett substrat med lämpliga fysiska egenskaper (Dunnet och Kingsbury, 2008).

1.5.3 Torv

Torv är ett organsikt material. Det organiska materialet är viktigt för substratets vattenhållande egenskaper och näringsförsörjning (Dunnet och Kingsbury, 2008). Torv delas in efter nedbrytningsgrad, så kallad humifieringsgrad. Mörk torv är mer nedbruten än ljus och innehåller mindre luft och mindre lättillgängligt vatten. Ljus torv har däremot hög porositet dvs. mycket porer med lättillgängligt vatten och luft. Torv innehåller väldigt lite näring naturligt (Brander P-E et al., 2004) men har en hög katjonbyteskapaciteten per viktenhet. Katjonbyteskapacitet innebär markens

förmåga att binda till sig positivt laddade joner, så kallade katjoner. Katjoner i form av baskatjoner är ofta viktiga näringsämnen för växter. I jordar med hög katjonbytes kapacitet binds jonerna till marken i stället för att lakas ut och det är därmed lättare för växten att ta upp dem (Eriksson et al., 2005). Torv används ofta som organiskt material i substrat för gröna tak (Dunnet och Kingsbury, 2008 ; FLL, 2002). Torv används i försöket eftersom det är ett vanligt material i gröna tak substrat och anses därför lämpligt att jämföra substraten innehållande biokol med.

1.6 Biokol

Idén med biokol kommer från början från bördiga jordar - *terra preta*, i Amazonas. I terra preta är andelen organsikt material, i forma av stabilt kol, mycket hög. Dessa jordar har visat sig vara näringsrika och innehålla näringsämnen som kväve, fosfor, kalium och kalcium. Grödor sägs växa tre gånger så bra på terra preta jämfört med omgivande jordar som karaktäriseras av att vara relativt näringsfattiga (Sohi et al., 2009).

Framställning av Biokol sker genom pyrolys. Pyrolys innebär syrefri förbränning av organiskt material där produkten blir stabilt kol som bryts ner mycket långsamt (Sohi et al., 2009).

Biokol tillsätts jordar på friland och används blad annat i japan (Okimori et al., 2003). Biokol har en porös struktur vilket kan medföra en ökad vattenhållande förmåga och förbättring av markstrukturen. Biokol som tillsätts tillsammans med näring ökar även effekten av näringsupptaget. Detta eftersom kolet binder ammoniumjoner och motverkar urlakning, biokol ökar även tillgängligheten till andra näringsämnen för växten (Sohi et al., 2009).

Eftersom biokol är en mycket stabil form av kol kan man binda in organiskt kol i marken under lång tid. Denna egenskap är främst av intresse då den kan användas för att binda kol som annars kan bilda växthusgas i form av koldioxid som frigörs till atmosfären. Biokol skulle därför även kunna utnyttjas som så kallad kolsänka (Sohi et al., 2009).

1.6.1 Biokol över tiden

Studier av Kuzyakov et al., (2008) tyder på att biokol bryts ner mycket långsamt och har en halveringstid på 1400 år. David A. Wardle har gjort försök där nätsäckar med tre olika innehåll placerats i nordlig skog (i Sverige) under en 10-års period. De tre säckarna innehöll enbart humus eller biokol samt en blandning 50:50 av biokol och humus. Studien visade att säcken med humus förlorade ca 30 % av startvikten medan biokol inte förlorade i vikt under perioden. Säcken med biokol och humus förlorade ca 25 % av vikten vilket tyder på att det har skett interaktioner mellan kolet och humusen (Wardle et al., 2008).

1.6.2 Lämpligt organiskt material i substrat för gröna tak?

Inga tidigare studier där biokol har används som substratkomponent till gröna tak har under denna litteratursökning hittats. Enligt Roth-Keyler, (2001, från Emilsson, 2006) har man i Tyskland använt olika typer av aska i substrat eftersom det är relativt billigt. Man har då inte använt det som ett organiskt material utan som en strukturkomponent i substratet.

Eftersom torv bryts ner inom ett par år, eller i studie gjord av Emilsson, (2006) redan efter ett år är tanken att biokol inte kommer brytas ner och fungera som tillgängligt organiskt material under takets hela livslängd. Biokol kommer att hålla den näring som har tillförts till substratet även efter att torven brutits ner och på så vis motverka urlakning av näringsämnen.

1.6.3 Takjord

Veg Techs takjord innehåller scoria, matjord med högt pH-värde, torv, stenmjöl och lera (Bennström, Pers.medd., 2010). Scoria är precis som pimpsten lavabaserat (Alsanius och Krtiz, 2005). Takjorden används bland annat i Veg Techs sedummattor och sedum-ört-gräsmattor. (Veg Tech, 2010) Sedummattor kallas ofta de substratmattor som läggs på taken och är täckta av vegetation från släktet *Sedum*. Takjord används i försöket som referens för att jämföra de egenkomponerade substraten med.

1.7 Växtval

1.7.1 Etablering av växter

Växterna till gröna tak etableras på substratmattorna med frö, sticklingar eller pluggplantor. Växtmattorna/substratmattorna kan vara förkultiverade eller etableras direkt på plats på taket (Dunnet och Kingsbury, 2008). Försöket kommer att simulera den etablering som sker direkt på tak med sticklingar, direktetablering på taken medför i regel en ekonomisk fördel. I Sverige används dock mest färdigetablerade växtmattor (Emilsson, 2006). I produktionen av vegetationsmattor vattnar man sedumsticklingarna vid behov upp till tre gånger per dygn (Bennström, Pers. medd., 2010) detta ger en snabb och stabil etablering och substratmattan täcks fort av växterna. De färdigetablerade växtmattorna placeras sedan direkt på taket. Sticklingarna i försöket kommer att vattnas var femte dag (totalt tre gånger) samt inte vattnas alls. Detta görs för att simulera de förhållanden med snål vattentillförseln som ibland kan råda vid etablering direkt på tak. Försöksperioden sträcker sig under den första och mest kritiska perioden av etableringen. Växterna är då som mest känsliga för torka eftersom de inte har bildat rötter.

1.7.2 Växter anpassade för gröna tak

Växter som används på extensiva gröna tak ska för det första vara anpassade till det lokala klimatet. Växterna måste dessutom klara klimatet på taket som brukar beskrivas med stora temperaturskillnader till följd av hög in- och utstrålning, hög avdunstning och vindutsatthet.

Eftersom substratdjupet ofta är grunt behöver arterna dessutom kunna klarar långvarig torka, liten näringstillgång samt ha ett grunt rotsystem (Dunnet och Kingsbury, 2008).

Många suckulenta arter har visat sig vara lämpade för dessa förhållanden eftersom de vid torka använder sig av Crassulacean acid metabolism (CAM). Växter med CAM-metabolism har stomata dvs. klyvöppningarna öppna och fixerar koldioxid under natten. Koldioxiden lagras som malatsyra i vakuolen. Under dagen hålls stomata stängd. Malatsyran förflyttas då från vakuolen och omvandlas till Malat som används i Calvin Cykeln för att binda in kol. Kolmolekylerna används vid syntes av bland annat sukros och stärkelse. Eftersom CAM-växter kan hålla stomata stängda dagtid minskar vattenförlusten och växten löper mindre risk för uttorkning (Raven et al., 2005).

Flera arter inom släktet *Sedum* används till extensiva gröna tak med ett substratdjup på 2-4 cm (Dunnet och Kingsbury, 2008). Till vegetationstäckta tak i Sverige används i huvudsak släktena *Sedum* spp., *Phedimus* spp. och *Hylotelephium* spp. (Emilsson, 2006).

De arter som studeras i arbetet utgör ofta grundväxtligheten på gröna tak med ett substratdjup på ett par centimeter. Dessa arter växer naturligt på karga marker och trivs inte i jordar med för mycket vatten och näring. Studier har dock visat att vattnings gynnar etableringen av sticklingar av bland annat *S. album* och *S. spurium* (Nicholaus et al., 2005).

Sticklingarna är hämtade från företaget Veg Techs moderodling i Fagerås utanför Vislanda, Småland. Båda arterna tillhör familjen *Crassulaceae* - Fetbladsväxter och släktet *Sedum* (den virtuella floran, 2003; den virtuella floran, 2009).

Dessa två arter har valts eftersom de är lättetablerade och växer fort (Stephenson, 1994). De har lite olika krav och egenskaper vid etablering vilket gör det intressant att använda båda i försöket.

1.7.3 Vit fetknopp *Sedum album*

Vit fetknopp används som grundkomponent i sedummattor. Den har gröna blad som färgas röda vid kraftig torka (Stephenson, 1994) och under vintern (Snodgrass och Snodgrass, 2006). Förökning sker framför allt med sticklingar (Snodgrass och Snodgrass, 2006). Den kan även förökas med enstaka blad (Stephenson, 1994).

Vit fetknopp har vit blomfärg och en blomställning som är upprätt, platt och cymös (Snodgrass och Snodgrass, 2006). Vit fetknopp förekommer vild, framför allt i mellersta Sverige och är vanlig på Öland och Gotland. Den växer framför allt på grusig mark och stenhällar (den virtuella floran,

2003).

1.7.4 Kaukasiskt fetblad *Sedum spurium*

Kaukasiskt fetblad används som grundkomponent i sedummattor och klarar soligt läge. Arten har motsatta blad och ett krypande växtsätt. Speciellt för denna art är att den har slingrade stammar som efter ett par år kan bli upp till 30 cm långa (Snodgrass och Snodgrass, 2006).

Kaukasiskt fetblad odlas och är härdig i hela Sverige men kommer ursprungligen från Kaukasus (den virtuella floran, 2009).

2. Material och Metoder

2.1 Material

2.1.1 Substratkomponenter

Det oorganiska materialet som användes var:

Pimpsten - Pimpsten från BaraMineraler användes. Fraktionen var: grov 2-8 mm. Deras pimpsten kommer från vulkanen Hekla på Island och har bearbetats och renats. Pimpstenen kommer från ett område utan växter och innehåller därför inte frö eller nematoder. (BaraMineraler)

HeklaGreen - HeklaGreen från BaraMineraler användes. Det är en pimpsten med fraktion: fin 0,5-3 mm (BaraMineraler).

Baskarpsand B55- Sand köpt från Askania AB användes. Fraktion: mellan 0,2-1 mm där medelkornstorleken är 0,55 mm dvs. 50%> 0,55 mm och 50%<0,55 mm.

Det organiska materialet som användes var:

Torv - Yrkesodlarjord från Emmaljunga har används. Torvblandningen består av 90% ljus torv och 10% mörk torv. Varken näring eller kalk var tillsatt till Yrkesodlarjorden. (Emmaljunga Torvmull AB, pers.samtal, 2010)

Biokol - Som biokol användes grillkol från Skogenskol köpt i handeln. Den krossades manuellt till storleksfraktioner av < 10 mm.

Substraten tillverkades för hand enligt förhållanden i Tabell I. Vid minskat innehåll av organiskt material har andelen grov pimpsten ökat. Eftersom den grova pimpstenen utgör en stor del av substratet blir den relativa mängdförändringen liten.

Substraten benämns:

- Hög organisk halt, torv: HT

- Låg organisk halt, torv: LT
- Hög organisk halt, biokol: HK
- Låg organisk halt, biokol: LK

Tabell I. Komposition av substrat HT, LT, HK och LK uttryckt i viktprocent.

Komponenter uttryckt i vikt%	HT	LT	HK	LK
Pimpsten 2-8 mm	54	57	54	57
Sand	30	30	30	30
Pimpsten 0,5-3 mm	10	10	10	10
Torv	6	3	-	-
Biokol	-	-	6	3

Takjord - Takjord används kommersiellt av företaget Veg Tech vid tillverkning av bland annat Sedummattor. Veg Techs takjord innehåller scoria, matjord med högt pH-värde, torv, stenmjöl och lera. Vikt- eller volymprocent är inte känt.

2.1.2 Växtmaterial

Vid försöket användes sticklingar av två sedumarter, vit fetknopp (*Sedum album*) och kaukasiskt fetblad (*Sedum spurium*). Dessa hämtades från företaget Veg Techs moderodling i Fagerås, Småland. Sticklingarna var relativt små, vilket förmodligen berodde på att växtsäsongen precis börjat efter vintern. Sticklingarna valdes för att vara så lika som möjligt.

Vit fetknopp: Varje stickling hade 10 till 15 blad. Stammen under bladen var ca 0,50 cm.

Kaukasiskt fetblad: Varje stickling hade 6 till 9 blad. Stammen under bladen var ca 1,00 cm.

Sticklingarna förvarades fuktade i växthus ett dygn innan plantering.

2.1.3 Växtplats

Försöket utfördes i växthus beläget i Alnarp, Skåne, under perioden 2010-04-14 till 2010-04-28.

Växthuset hade delvis kalkade fönster. Minimumtemperaturen var 10°C. Vid en temperatur på 19°C öppnades ventilationsluckor i taket, ingen extrabelysning eller övrig klimatstyrning användes.

2.2 Genomförande

Före plantering vägdes och mättes varje stickling. Vikten mättes i gram med två decimaler. Längden mättes i hela millimeter.

Fem sticklingar av samma art placerades i varje odlingskärl, sticklingarna numrerades 1 till 5.

Sticklingarnas stam stacks ner i substratet.

Kärnen randomiserades ut i tre block på bordsytan i växthuset.

Varje block innehöll totalt 20 odlingskärl.

2.2.1 Försöksuppställning

De två arterna planterades på fem olika substrat. Substraten fick två olika vattenbehandlings. Totalt var det 10 olika behandlingar per art, varje behandling gjordes i tre replikat. Replikaten för varje behandling märktes A, B och C. Tabell II visar försöksuppställningen för de båda arterna.

Tabell II. Försöksuppställning, anger vattenbehandling för arterna *S. album* och *S. spurium* samt substraten HT, LT, HK, KL och takjord. Varje behandling består av tre replikat märkta A, B och C.

Vattentillförsel	Art	HT	LT	HK	LK	Takjord
Ingen	<i>S. album</i>	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C
Tre gånger	<i>S. album</i>	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C
Ingen	<i>S. spurium</i>	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C
Tre gånger	<i>S. spurium</i>	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B, C

2.2.2 Odlingskärl och Vattentillgång

Odlingskärlen som användes hade en diameter på 11,30 cm och dräneringshål. Varje kärl innehöll 0,41 liter av respektive substrat. Substratdjupet var 4,0 cm.

Samtliga kärl vattnades upp innan plantering av sticklingarna. Två dagar efter planteringen vattnades den ena försöksserien första gången. Därefter vattnades denna ytterligare två gånger efter sju respektive 12 dagar. Vatten tillsattes till kärnen tills substratet var vattenmättat. Till den andra försöksserien tillfördes inte mer vatten efter att sticklingarna planterats.

2.2.3 Viktmätning av substraten

Vattenmättnadsvikt, fältkapacitetsvikt och torrsvikt av samtliga substrat gjordes.

300 ml av varje substrat fylldes i tre cylindrar (totalt 15 stycken) och kompakterades för hand.

Vatten tillsattes till varje cylinder tills att substratet var vattenmättat och en tunn vattenyta syntes ovanpå substratet. Substratets vattenmättnadsvikt mättes. Substratet var vattenmättat i 24 timmar.

Därefter öppnades dräneringshål i botten. Efter två timmars dränering vägdes substratet och det uppsamlade dräneringsvattnet. Vikten av substratet gav fältkapacitetsvikten dvs. den vikt som vattenmättat substrat maximalt kan anta. Den fältkapacitetsvikt som mäts efter 24 timmar i labb är ofta dubbelt så tung som den vikt vattenmättat substrat kan anta i verkligheten på taken. Mätningen är standard och görs för att säkerställa att takkonstruktionen klarar av tyngden av substratet.

(Dunnet och Kingsbury, 2008). Dräneringsvattnet angav ett mått på procent luftfyllda porer i substratet. Efter detta torkades substraten i torkskåp på 105°C under två dygn därefter mättes substratets torrsvikt. Total porvolym och substratets förmåga att hålla vatten räknades ut med hjälp av vikterna som mätts. Samtliga vikter räknades om till volym med antagandet att 1 gram = 1 ml.

Formler:

$$(1). \text{Luftinnehåll i procent} = \text{volym} \frac{\text{dräneringsvatten}}{\text{cylindervolym}} \times 100$$

$$(2). \text{Substratets vattenhållandeförmåga i procent} = \frac{\text{totalporvolym}}{\text{cylindervolym}} \times 100$$

2.2.4 Slutavläsning

Vid försöksavslutning avlästes antal rötter och skott samt vikt och längd från varje stickling.

För att räkna ut vikt- och längdökning togs differensen mellan slutsvikt och startsvikt samt slutlängd och startlängd.

2.2.5 Statistisk Analys

Vid analys av datamaterialet användes programmet Minitab 15 och General Linerar Model(GLM). För statistisk analys av substraten har Tukey's test med signifikansnivå 95 % används. De variabler som analyserats och jämförts var vattentillförsel (ingen/tre gånger), substraten (LT, HT, LK, HK och takjord) samt interaktion mellan substraten och vattentillförsel. Analys av organiskt material (torv eller biokol), organiskt halt (6 % och 3 %) och bevattning har gjorts med hjälp av trevägs GLM använts. Vid analys av signifikanta skillnader mellan de olika substraten har medelvärdena för de ovattnade och vattnade replikaten (sex replikat/substrat) slagits ihop och analyserats. Figurerna har gjorts i MatLab.

3. Resultat

3.1 Generellt

En signifikant skillnad ses mellan de olika bevattningsbehandlingarna. De replikat som vattnats har för både *S. album* och *S. spurius* samt på samtliga substrat lett till en större ökning av vikt och längd samt bildat fler rötter än de replikat som inte fått vatten. P-värde för skillnader mellan vattnade och ovattnade replikat låg mellan 0,000 och 0,002.

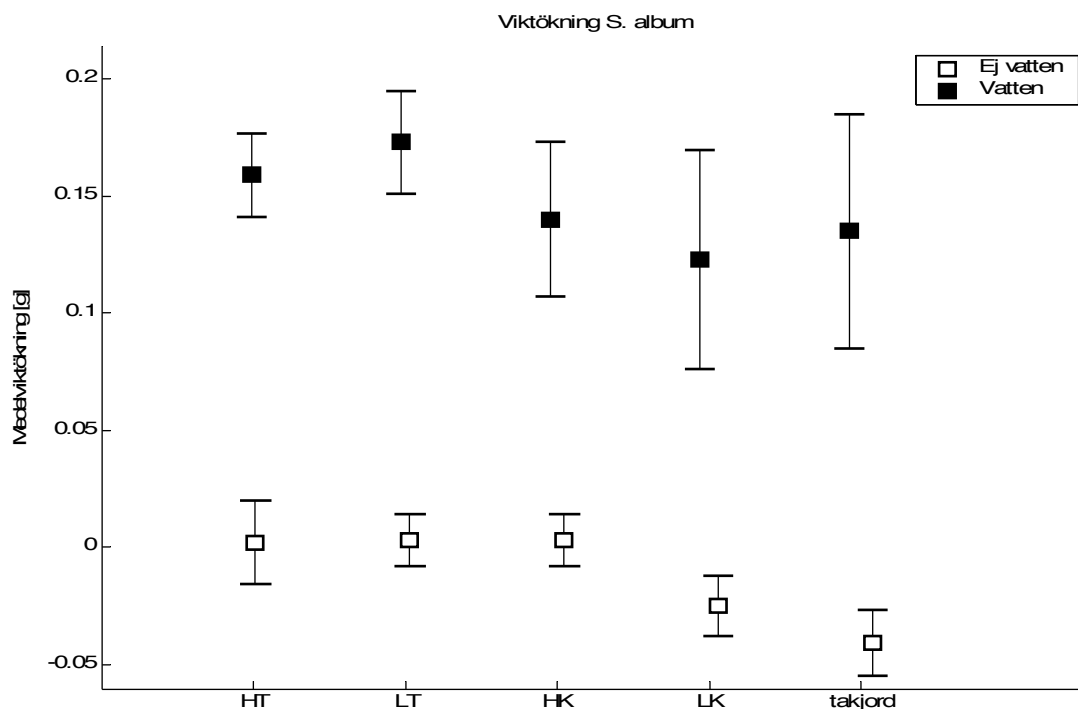
Jämförelser mellan de fem substraten har gett varierande resultat. Generellt verkar substrat

innehållande torv ge en högre tillväxt än de med biokol, i en del fall signifikant. Takjord skiljer sig vid vissa mätningar signifikant från de egenkomponerade substraten och ger i dessa fall en lägre tillväxt. *S. album* har uppvisat färre signifikanta skillnader än *S. spurius* vid jämförelser mellan substraten. Skillnader i organisk halt påverkade inte mätvärdena signifikant. Dessutom fanns en interaktion mellan vattning och substrat med avseende på längdökning hos *S. spurius*.

3.2 *Sedum album*

3.2.1 Viktökning

Viktökning är signifikant större i de fall behandlingen inneburit vattning, dessa förefaller även ha en större varians även om inga statistiska beräkningar som styrker detta har gjorts (Figur I). Det finns ingen signifikant skillnad mellan substraten med avseende på viktökning (Tabell III). Däremot fanns signifikant skillnad mellan de olika typerna av organiskt material (torv/biokol) med ett p-värde på 0,028.



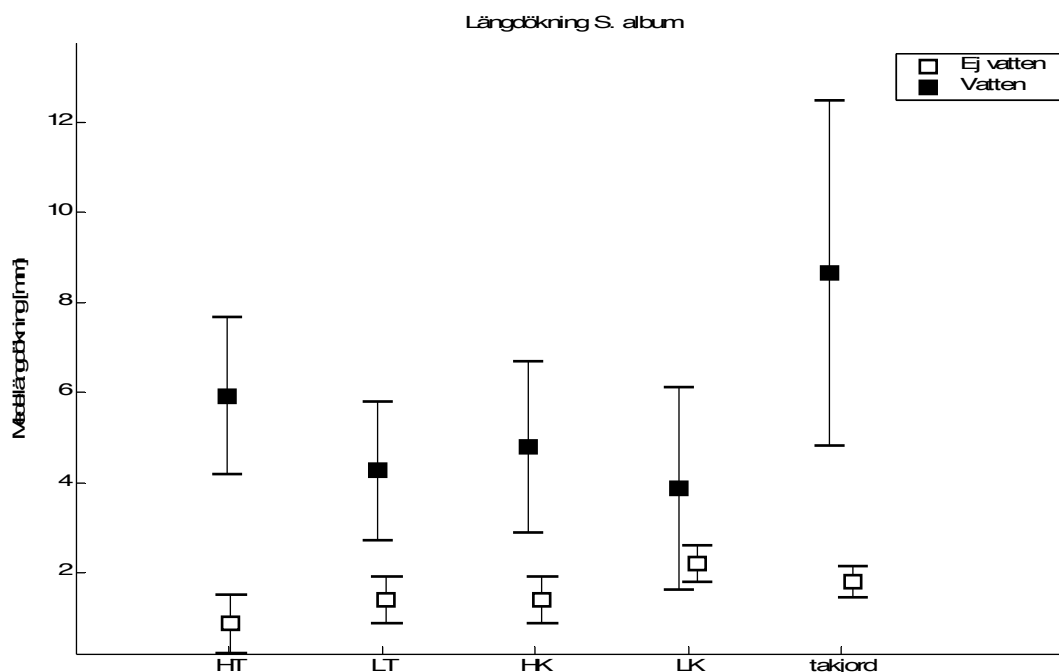
Figur I. Viktförändring (medelvärde och standardavvikelse) hos *S. album* för substraten HT, LT, HK, LK samt takjord. ■ = anger medelvärden på de replikat som blivit vattnade tre gånger, □ = anger medelvärde på de replikat som inte blivit vattnade.

Tabell III. Signifikanstabell för viktökning av *S. album* och substraten HT, LT, HK, LK och takjord. Medelvärdet anger medelviktökning på sex replikat för respektive substrat. De substrat som skiljer sig på 95% signifikansnivå markeras med olika bokstäver. Lika bokstav = ingen signifikant skillnad.

Substrat	Viktökning, medel (g)	Signifikans
LT	0,088	a
HT	0,080	a
HK	0,072	a
LK	0,049	a
takjord	0,047	a

3.2.2 Längdökning

Längdökning är signifikant högre hos de behandlingar som fått vatten, det förefaller också ha en större standardavvikelse än de replikat som inte vattnats även om inga statistiska analyser gjorts (Figur II). Varken substrat (Tabell IV), organiskt material eller organisk halt skiljer sig signifikant.



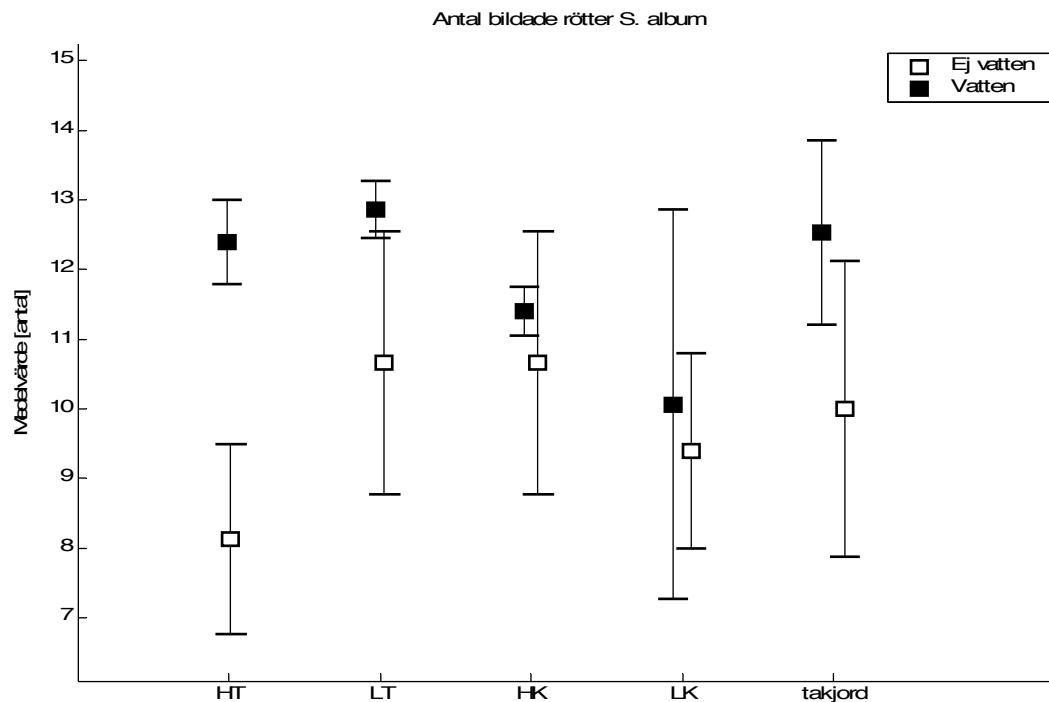
Figur II. Längdförändring (medelvärde och standardavvikelse) hos *S. album* för substraten HT, LT, HK, LK samt takjord. ■ = anger medelvärden på de replikat som blivit vattnade tre gånger, □ = anger medelvärde på de replikat som inte blivit vattnade.

Tabell IV. Signifikanstabell för längdökning av *S. album* och substraten HT, LT, HK, LK och takjord. Medelvärdet anger medellängdökning på sex replikat för respektive substrat. De substrat som skiljer sig på 95% signifikansnivå markeras med olika bokstäver. Lika bokstav = ingen signifikant skillnad.

Substrat	Längdökning, medel (mm)	Signifikans
takjord	5,233	a
HT	3,400	a
HK	3,100	a
LK	3,033	a
LT	2,833	a

3.2.3 Rotbildning

De behandlingar som blivit vattnade har bildat signifikant flest rötter (Figur III). Varken substrat (Tabell V), organiskt material eller organisk halt ger signifikanta skillnader.



Figur III. Antal bildade rötter (medelvärde och standardavvikelse) hos *S. album* för substraten HT, LT, HK, LK samt takjord. ■ = anger medelvärden på de replikat som blivit vattnade tre gånger, □ = anger medelvärde på de replikat som inte blivit vattnade.

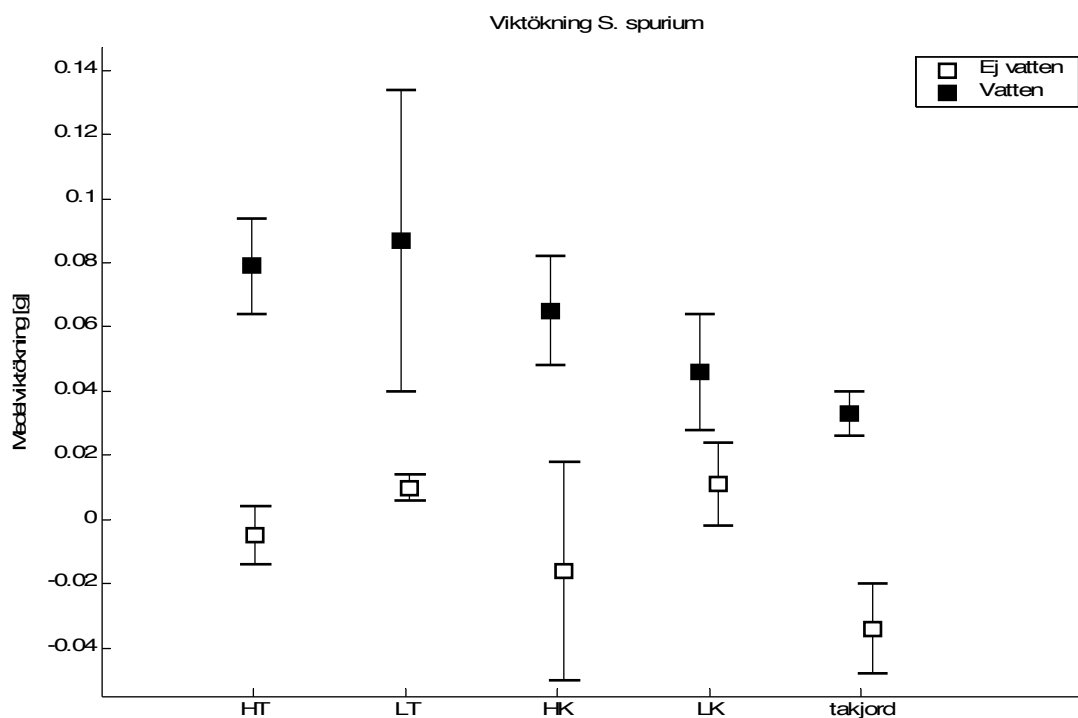
Tabell V. Signifikanstabell för antal bildade rötter av *S. album* och substraten HT, LT, HK, LK och takjord. Medelvärdet anger bildade rötter i medelantal på sex replikat för respektive substrat. De substrat som skiljer sig på 95% signifikansnivå markeras med olika bokstäver. Lika bokstav = ingen signifikant skillnad.

Substrat	Antal rötter (medel)	Signifikans
LT	11,767	a
takjord	11,262	a
HK	11,033	a
HT	10,267	a
LK	9,733	a

3.3 *Sedum spurium*

3.3.1 Viktökning

Viktökning är signifikant större i de fall behandlingen inneburit vattning (Figur IV). Substrat LT skiljer sig, oberoende av vattning, signifikant från takjord med ett p-värde på 0,0066 (Tabell VI). Skillnader i organiskt material och organisk halt gav inga signifikanta skillnader.



Figur IV. Viktförändring (medelvärde och standardavvikelse) hos *S. spurium* för substraten HT, LT, HK, LK samt takjord. ■ = anger medelvärden på de replikat som blivit vattnade tre gånger, □ = anger medelvärde på de replikat som inte blivit vattnade.

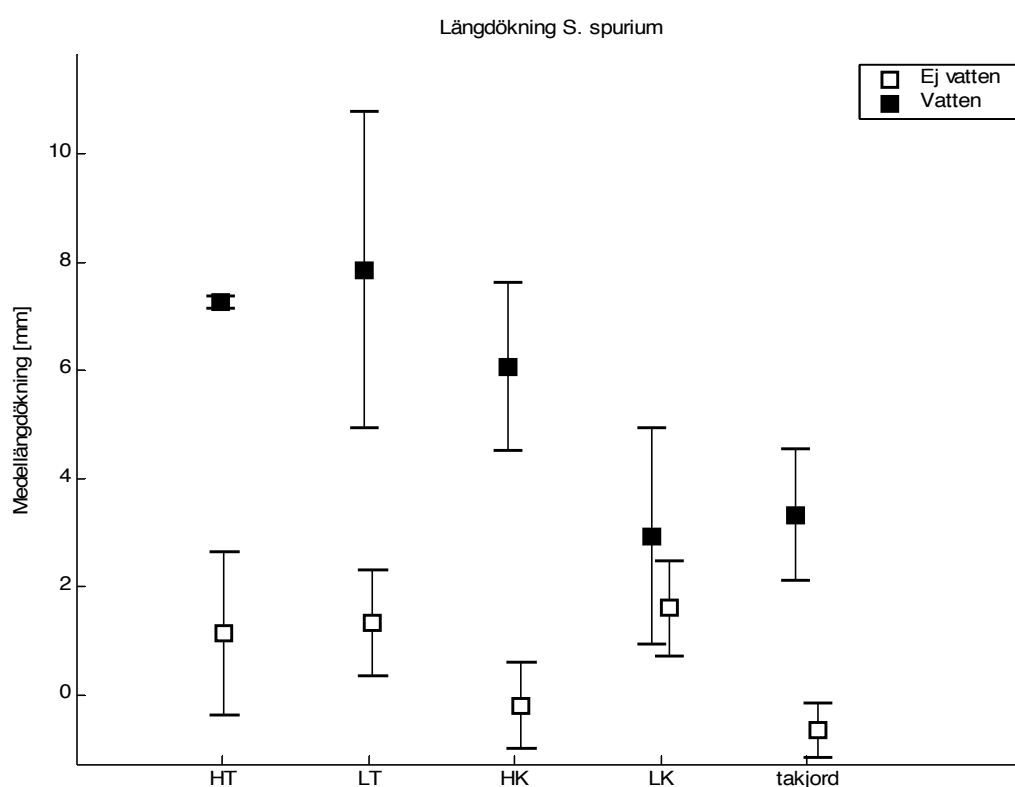
Tabell VI. Signifikanstabell för viktökning av *S. spurium* och substraten HT, LT, HK, LK och takjord. Medelvärdet anger medelviktökning på sex replikat för respektive substrat. De substrat som skiljer sig på 95% signifikansnivå markeras med olika bokstäver. Lika bokstav = ingen signifikant skillnad.

Substrat	Viktökning, medel (g)	Signifikans
LT	0,049	a
HT	0,037	ab
LK	0,029	ab
HK	0,025	ab
takjord	-0,001	b

3.3.2 Längdökning

Längdökningen är signifikant högre hos de behandlingar som fått vatten. LT i kombination med vatten gav högst värde men hade också störst standardavvikelse (Figur V).

Substrat HT och LT skiljer sig signifikant, oberoende av vattning, från takjord med p-värde på 0,0214 respektive 0,0076 (Tabell VII). Vidare finns en signifikant interaktion mellan vatten och substrat med ett p-värde på 0,027. Substraten innehållande torv har gett signifikant större längdökning än de med biokol med ett p-värde på 0,028. Organisk halt gav ingen signifikant skillnad.



Figur V. Längdförändring (medelvärde och standardavvikelse) hos *S. spurium* för substraten HT, LT, HK, LK samt takjord. ■ = anger medelvärden på de replikat som blivit vattnade tre gånger, □ = anger medelvärde på de replikat som inte blivit vattnade.

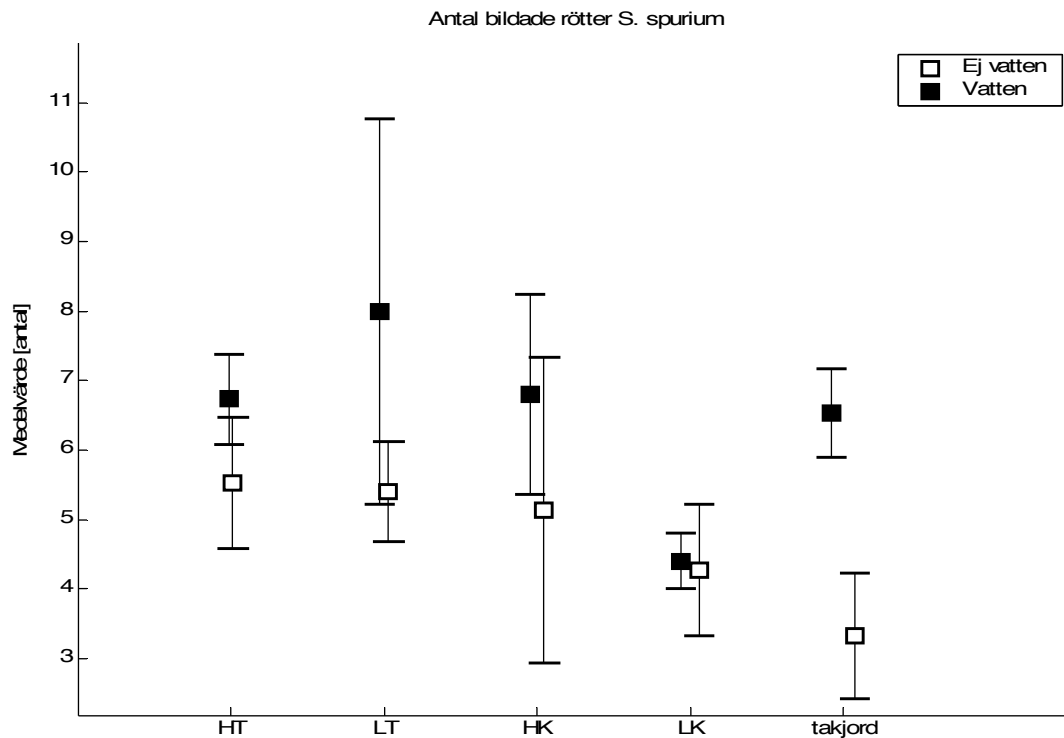
Tabell VII. Signifikanstabell för längdökning av *S. spurium* och substraten HT, LT, HK, LK och takjord. Medelvärdet anger medellängdökning på sex replikat för respektive substrat. De substrat som skiljer sig på 95% signifikansnivå markeras med olika bokstäver. Lika bokstav = ingen signifikant skillnad.

Substrat	Längdökning, medel (mm)	Signifikans
LT	4,600	a
HT	4,200	a
HK	2,933	ab
LK	2,267	ab
takjord	1,333	b

3.3.3 Rotbildning

De behandlingar som blivit vattnade har bildat signifikant flest rötter. Vattnad LT har störst värde men också relativt hög standardavvikelse (Figur VI).

Substrat LT skiljer sig, oberoende av vattning, signifikant från substrat LK med ett p-värde på 0,0493 (Tabell VIII). Organisk halt och typ av organiskt material gav inga signifikanta skillnader.



Figur VI. Antal bildade rötter (medelvärde och standardavvikelse) hos *S. spurium* för substraten HT, LT, HK, LK samt takjord. ■ = anger medelvärden på de replikat som blivit vattnade tre gånger, □ = anger medelvärde på de replikat som inte blivit vattnade.

Tabell VIII. Signifikanstabell för antal bildade rötter av *S. spurium* och substraten HT, LT, HK, LK och takjord. Medelvärdet anger bildade rötter i medelantal på sex replikat för respektive substrat. De substrat som skiljer sig på 95 % signifikansnivå markeras med olika bokstäver. Lika bokstav = ingen signifikant skillnad.

Substrat	Antal rötter (medel)	Signifikans
LT	6,700	a
HT	6,133	ab
HK	5,967	ab
takjord	4,933	ab
LK	4,333	b

3.4 Substratvikter

Tabell IX visar substrategenskaper hos de fem substrat som användes i försöket. Luftinnehåll och substratets förmåga att hålla vatten jämförs med de rekommenderade minsta värdena från FLL 2002. Samtliga substrat hade alla en vattenhållande förmåga som översteg FLL: rekommenderade minimivärde. Däremot klarade bara substrat HK och LK rekommendationerna för luftinnehåll.

Tabell IX. Torrsvikt, Fältkapacitetsvikt, Vattenmättnadsvikt, Total porvolym Luftinnehåll och substratets förmåga att hålla vatten för substraten HT, LT, HK, LK. Vikterna anges i kg/m³, räknat med en centimeters substratdjup. Luftinnehåll och substratets förmåga att hålla vatten är angivet i procent. Minsta rekommenderade värdet enligt FLL 2002 är angivet längst ner i tabellen.

Substrat	Torrsvikt (kg/m ³)	Fältkapacitetsvikt (kg/m ³)	Vattenmättnadsvikt (kg/m ³)	Luftinnehåll (%)	Vattenhållande förmåga (%)
HT	4,506	9,582	10,358	7,8	50,8
LT	4,659	9,366	10,166	8,0	47,1
HK	4,638	9,470	10,577	11,1	48,3
LK	4,827	9,462	10,461	10,0	46,4
Takjord	8,787	13,200	14,031	8,3	44,1
FLL (2002)	-	-	-	10,0	35,0

3.5 Övriga observationer

Vattningstillfälle 1. 2010-04-16. Kolet färgade det dränerade vattnet svart. *S. spurium* såg en aning uttorkade ut jämfört med *S. album*. Tillförsel av vatten kan ha ”grävt ner” sticklingarna i substratet.

Vattningstillfälle 2. 2010-04-21. Takjorden är inte lika genomsläpplig som övriga substrat vattnet svämmer nästan över innan det sjunker ner genom jorden.

Vattningstillfälle 3. 2010-04-26. En del av *S. spurium* placerade på de substrat som inte fått vatten ser mycket vissna ut.

Vid slutavläsning. 2010-04-28. Det noterades, även om inga mätdata samlades, att sticklingar som vattnats föreföll ha längre rötter än de sticklingar som inte fått vatten.

En del av sticklingarna hade hunnit bilda små skott under försöksperioden. Den behandling som erhöll flest skott var vattnad takjord med sticklingar av *S. album*, dessa hade sammanlagt bildat 8 nya skott. De sticklingar som bildat skott hade maximalt två skott/stickling. Etableringstiden var för kort för att få ett resultat över vilka substrat som varit skottbildningsfrämjande. Det var endast sticklingar av *S. album* och de behandlingar av substrat HT, HK och LK som fått vatten som bildat skott. Inga sticklingar av *S. spurium* hade bildat nya skott.

4. Diskussion

4.1 Generellt

Försöksperioden sträckte sig över 14 dagar och därmed den första och mest kritiska etableringstiden. Sticklingarna i utgångsmaterialet var relativt små eftersom de odlats utomhus och växtsäsongen precis kommit igång efter vintern. Varje stickling har enbart förändrats med ett par mm och några hundra gram. Ändå ses en signifikant skillnad hos både *S. album* och *S. spurium* mellan de olika vattenbehandlingarna. De behandlingar som vattnats har haft en större ökning i vikt och längd samt bildat fler rötter än de behandlingar som inte har vattnats. Även om *Sedum* spp. växer i och klarar av mycket torra förhållande har vatten haft en positiv inverkan på tillväxten i försöket. Detta resultat stämmer överens med studier gjorda av Nicholas et al. (2005) där *Sedum* spp. tillväxer mer vid vattentillförsel.

4.2 *Sedum album*

Viktökningen skildes inte signifikant mellan substraten. Däremot gav substraten med torv signifikant större viktökning än de med biokol. Eftersom mätningarna är gjorda på sticklingarnas färskvikt, som till största del utgörs av vatten, beror det förmodligen på att substraten innehållande torv kan hålla mer vatten än de med biokol. De replikat som inte fått vatten har haft en mycket liten viktökning och en del har även haft en viktninskning. Viktninskningen beror förmodligen på vattenförlust.

Längdökningen skiljde sig inte heller signifikant mellan substraten. Förmodligen är det även här vatten som är den begränsande faktorn även om en rad faktorer påverkar längdtillväxt hos växter. Vidare noterades att de behandlingar som getts vatten hade en större spridning jämfört med de som inte fått vatten även om ingen statistisk analys gjorts för att bevisa detta. Det skulle kunna antyda att sticklingsmaterialet är en nästan lika viktig faktor för säker etablering som substrat, även om antalet replikat i detta test är för få för att kunna styrka ett sådant antagande. Till exempel ses i figur II att standaravvikelsen för behandling LK med vatten sträcker sig från att vara relativt bra till att vara sämre än motsvarande ovattnade behandling.

De vattnade behandlingarna bildade signifikant fler rötter än de som inte fått vatten, däremot var skillnaderna relativt små jämfört med skillnaderna i vikt- och längdökning. Detta kan bero på att sticklingarna bildar rötter även under mycket torra förhållande och innan de påbörjar sin tillväxt. Här observerades, vid slutavläsningen, längre rötter på de sticklingar som fått vatten jämfört med de ovattnade.

4.3 *Sedum spurium*

Substrat LT skiljer sig, oberoende av vattenbehandling, signifikant från takjord. LT har gett störst ökning av vikt, längd och antal bildade rötter men har också den största standardavvikelsen. Den stora standardavvikelsen kan bland annat bero på att torven till största delen bestod av ljus torv som är svår att finfördela. Det är därför troligt att torven i substratet till stor del varit samlad i klumpar som gett ett ohomogent substrat. Sticklingarna kan alltså ha haft varierande etableringsmöjligheter beroende på om det har hamnat på en torvklump eller inte.

Takjorden har gett den minsta viktökningen för både vattnad och ovattnad behandling, den kan eventuellt bero på att den har lägst vattenhållande förmåga. Takjorden har förmodligen fler egenskaper som skiljer sig från de egenkomponerade substraten. Förmodligen skiljer sig pH-värdena mellan takjord och de egenkomponerade substraten. Eftersom torven som användes inte var kalkad kan man tänka sig att den har ett relativt surt pH medan takjorden innehåller matjord med högt pH. Hos de replikat av *S. spurium* som inte tillförts vatten har viktökningen varit mycket liten och i vissa fall har det även skett en viktminskning, även här beror det förmodligen på vattenförlust. Båda substraten innehållande torv har gett signifikant större längdökning än takjord. Torv har även visat sig ge signifikant större längdökning än biokol. Detta kan bero på torvsubstratens goda vattenhållande förmåga, låga luftinnehåll eller någon annan egenskap. Även här kan ”torvklumparna” i substratet påverkat sticklingarnas tillväxt och gett stor varians. Här fanns även en signifikant interaktion mellan vatten och substrat. Det beror förmodligen på att LK gav nästan samma längdökning oberoende av vatten. Längdminskningen hos en del replikat beror förmodligen på vattenförlust.

I de replikat som fått vatten har alla utom de i substrat LK, som bildat ungefär lika mycket, bildat fler rötter än de replikat som inte fått vatten. Substrat LT skiljer sig, oberoende av vattning, signifikant från substrat LK. Substrat LT har gett flest antal bildade rötter i medeltal men är också den behandlingen som har störst standardavvikelse. Även här beror den stora standardavvikelsen förmodligen på ett ohomogent substrat. LK verkar ha bildat ungefär samma antal rötter oberoende av vattenbehandling. Även hos *S. spurium* är skillnaderna i antal bildade rötter relativt små mellan vattnat och ovattnat jämfört med skillnaderna i vikt- och längdökning. Det beror förmodligen på att sticklingarna prioriterar rotbildning. Även här observerades vid slutavläsning längre rötter på de sticklingar som fått vatten jämfört med de som inte fått vatten.

4.4 *Arterna*

De olika arterna testades inte i syfte för att jämföras med varandra utan eftersom de har lite olika karaktärer samt att båda används som grundväxtlighet på sedummattor. En skillnad kunde dock ses i

tillväxt. *S. album* har gett en större viktökning och fler bildade rötter än *S. spurium*, det var även enbart hos *S. album* som nya skott bildats. Detta skulle kunna tyda på att *S. album* har mindre krav på ståndort och således en snabbare etablering.

En faktor som inte har analyserats närmre är hur skillnader i sticklingarnas storlek vid försökets början påverkade deras etablering. De skott som från början var större hade eventuellt både en större kapacitet för tillväxt men också ökad risk för uttorkning och viktninskning. Det hade även varit intressant att undersöka om det finns något tröskelvärde vad gäller etablering och storlek. Eventuellt finns det en nedre gräns för hur liten en stickling kan vara för att få en säker etablering. De två arterna verkar ha reagerat olika på substraten. Bland annat verkar *S. album* ge bättre tillväxt på takjord än på de egenkomponerade substraten jämfört med *S. spurium*. Vid mätningen av viktökning, längdökning och bildade rötter hos *S. spurium* har takjord varit sämst eller bland de sämsta. Däremot har takjord ofta fungerat relativt bra hos *S. album*. Takjord har förmodligen andra fysiska och kemiska egenskaper än de pimpstensbaserade substraten. Bland annat borde takjorden ha ett högre pH än de substrat som innehåller torv. Här skulle man kunna tänka sig att substrat med annorlunda egenskaper så som olika pH-värde gynnar olika arter. Vidare studier om hur substratets pH-värde och övriga kemiska egenskaper skulle vara av intresse.

Eventuellt gynnas även arter olika beroende på vattentillgång. Vissa arter kanske passar bättre för etablering direkt på tak med snål vattentillförsel medan andra arter gynnas mer av en etablering med kontrollerad vattentillförsel. Även vidare studier av olika substrat i kombination med vatten skulle behövas.

4.5 Biokol

De egenkomponerade substraten som innehöll biokol har i regel gett en mindre tillväxt, oberoende av vattningsbehandlig, än de substrat som innehöll torv. I vissa fall har skillnaderna varit signifikanta. Under ovattnade förhållanden har substraten med biokol och torv gett ungefär samma resultat vad gäller viktökning, längdökning samt antal bildade rötter. Torv har i regel gett en bättre tillväxt jämfört med biokol vid vattning. Däremot har torv och biokol inte gett någon större skillnad i tillväxten hos de behandlingar som inte fått vatten. Här kan man tänka sig att biokol eventuellt skulle kunna fungera lika bra som organiskt material just vid etablering på tak och utan kontrollerad vattentillförsel.

En långtidsstudie hade varit av intresse eftersom en av de främsta egenskaperna hos biokol är dess långsamma nedbrytning. Det hade varit intressant att se om biokol kunnat påverka växterna efter den tid som ett ”traditionellt” organiskt material bryts ner. Även ett substrat med både torv och biokol hade varit intressant att testa. Man kan då tänka sig att torven agerade som

näringsförsörjning under de första åren och biokol för att långsiktig bibehålla halten organiskt material.

En annan intressant egenskap är biokolens funktion som så kallad kolsänka. Vid tillverkning av taken strävar man ofta efter en så miljövänlig slutprodukt som möjligt. Både vad gäller material men även vid tillverkning av taken. Bland annat används återvunnet krossat tegel och kompost som substratkomponenter för att minska systemets miljöpåverkan (Dunnet och Kingsbury, 2008; Emilsson., 2006). Kanske skulle ett organiskt material som binder kol, och därmed motverkar frigörande av koldioxid, vara ett mer miljövänligt och hållbart alternativ än till exempel torv. Biokol har även en vattenhållande förmåga och porös struktur som passar till substrat för gröna tak. Biokol har även förmåga att förbättra markstrukturen i naturliga jordar. Denna egenskap skulle kunna undersökas närmre för att skapa en substratstruktur med exempelvis mindre erosionsrisk (Piccolo, et al., 1997).

I försöket kan man se att substraten som innehåller biokol var de enda som levde upp till FLL:s standard vad gäller luftinnehåll för motsvarande gröna tak substrat. Veg Tech använder scoria i sin takjord eftersom de tycker att pimpsten är ett för lätt material (Bennström, Pers.medd., 2010) och risken för erosion vid kraftigt regn därför kan vara stor. Biokol skulle kanske kunna fungera som ett ”bindningsmedel” mellan substratkomponenterna men vidare studier av de fysikaliska egenskaperna krävs. Biokol är ett mycket lätt material vilket är ett av kriterierna för substratkomponenter.

Till biokols nackdelar hör avsaknad av storskalig tillverkning. I Sverige finns det än så länge mycket lite efterfrågan på biokol. Däremot finns det ett fåtal företag som jobbar för att skapa en marknad för användning av biokol till framför allt markförbättring. Det förekommer även en del forskning kring ämnet. Storskalig produktion skulle eventuellt även sänka priset på biokol. Det observerades att biokol färgade dräneringsvattnet svart. Partiklar från substraten kan följa med dagvattnet från taken. Detta borde inte vara något problem så länge dagvattnet inte tillåts rinna över öppna markytor. Dessutom används ofta ett membran som hindrar partiklar från att följa med ner i dagvattenssystemet. Eventuellt skulle man kunna tänka sig att kolet sönderdelas till så små partiklar över tiden att de tvättas ur substratet. Frågan är också om biokol är för lätt och kan ”flyta iväg” vid mycket regn eller vind, här kan nog storleksfraktionen på kolet påverka och dess förmåga att binda till andra substratkomponenter. Eventuellt kanske biokol även kan ge ett för näringsrikt substrat efter några år då takets etableringsprocess är över. Här skulle vidare studier behöva göras.

4.6 Substrategenskaper

De egenkomponerade substraten har alla en vattenhållande förmåga som ligger över 35 volym%. Lägsta uppmätta värde har takjord och högsta har substrat HT. Substrat HT är det substrat som innehåller 6 vikt% torv. Båda torvsubstraten har en något högre vattenhållande förmåga än motsvarande kolsubstrat med samma halt organiskt material, detta beror förmodligen på torvens förmåga att hålla vatten. Däremot är det bara de substrat som innehåller biokol som klarar gränsen från FLL på 10 % luftinnehåll. Biokolsubstraten har alltså både högre luftinnehåll och sämre vattenhållande förmåga. Det skulle kunna tyda på att biokolet skapar större porer som gör att substratet får större luftinnehåll vilket också leder till att vatten dräneras bort lättare och därmed sänker den vattenhållande förmågan. Mindre fraktioner av biokolet skulle förmodligen påverka substratets luftinnehåll och den vattenhållande förmågan.

Enligt FLL ska vikten för vattenmättade pimpstensbaserade substrat vara 13-16 kg/m³ räknat på en centimeters substratdjup. Inget av de egenkomponerade substraten är så tungt. Takjord är tyngre än de pimpstensbaserade substraten, den är dock baserad på scoria som är ett annat lavamaterial och väger mer än pimpsten. Enligt Veg Tech används scoria i stället för pimpsten eftersom pimpsten bland annat är för lätt. Pimpsten är även dyrare än scoria (Bennström, Pers. medd., 2010). Pimpsten till gröna tak substrat används mycket lite i Sverige. Detta kan bero på att tillgängligheten inte är så stor men också på det högre priset. Fler svenska studier med pimpsten som substratkomponent kanske hade ökat intresset för materialet. Pimpsten används som substratkomponent till gröna tak bland annat i USA.

Intressant var att det substrat som förefallit ge störst tillväxt i de vattnade behandlingarna är det som har 3 vikt% torv, även om det inte varit signifikant. En eventuell förklaring till detta kan vara att den 3 % högre pimpstenshalten innehållit mer växttillgängligt vatten. Däremot har substrat HK med 6 % biokol i de flesta fall fungerat bättre än substrat LK med 3 % biokol. Här kan de alltså inte vara förmågan hos pimpsten att hålla mer vatten. Skillnaden skulle eventuellt kunna bero på olika fördelning mellan mikro- och makroporer. Vidare studier inom området skulle vara av intresse.

4.7 Felkällor och Försöksförbättring

Fler replikat skulle ha använts i försöket för att förbättra den statistiska säkerheten och för att få en minskning av variansen, till exempel hade man, vid behov, kunnat plocka bort eventuella outliers. Man hade även kunna separera vattnade och ovattnade behandlingar vid analys av organiskt material och organisk halt.

Vid tillverkningen av substratet användes torv med fördelning 90 % ljus torv och 10 % mörk torv. Eftersom torvblandningen innehöll mycket ljus torv som är mindre nedbrutet än mörk torv var

torven svår att finfördela i substratet. Detta har förmodligen inneburit att torvsubstraten varit ohomogent. Klumpar med torv har förmodligen bildats i substratet och beroende på om en stickling har planterats i närheten till dessa klumpar eller inte har etableringsmöjligheterna varierat.

Eventuellt kan dessa torvklumpar i förekommande fall förklara den högre standardavvikelsen för de behandlingar med torvbaserade substrat som fått vatten.

Fraktionerna på biokolet skulle kunna ha varit mer homogena. Eftersom den bästa storleksfraktionen inte är känd är det därför svårt att veta vilken fraktion/fraktioner som är mest framgångsrik.

Mätutrustning som användes, framförallt kopplat till substraten, skulle ha varit mer exakta.

Dessutom var substratdjupet inte lika i alla odlingskärl, det spelar förmodligen mindre roll eftersom det kanske speglar verkligheten bättre.

Eventuellt skulle den tillförda vattenmängden kunna kontrollerats för att minska spridningen inom behandlingarna och förbättra möjligheten att upprepa försöket.

En viss variation i storlek inom sticklingsmaterialet kan ha funnits vilket kan ha gett en osäkerhet i resultatet eftersom större sticklingar eventuellt haft en ökad kapacitet för tillväxt och en större känslighet för torka. För att ta hänsyn till detta borde vikt- och längdökning ha räknats i procent.

En annan variabel som hade kunnat mätas, istället för den i princip obefintliga skottbildningen, är längsta rot.

4.8 Slutsats

Försöket har simulerat den etablering som sker direkt på taken då vattentillförseln kan vara mycket ojämn och snål. Tillsatts av vatten har en genomgående positiv effekt på tillväxten för båda arterna och samtliga substrat, utom i ett fall. De torvbaserade substraten har visat en tendens att vid vattnings ofta gett bättre tillväxt hos båda arter, däremot har substraten med biokol fungerat lika bra som de med torv under de ovattnade förhållanden. Det indikerar på att biokolsubstraten förmodligen skulle fungera lika bra som de torvbaserade substraten vid etablering på tak. Resultaten tyder på att sticklingarna ger sämre etablering vid lite vattentillförsel, det verkar även som om *S. album* är mindre känslig för uttorkning än *S. spurium*.

Fördelen med att etablera direkt på tak är den ekonomiska vinsten men nackdelen är klimatet och de osäkra vattentillförseln. Det kan resultera i långsammare etablering vilket på sikt eventuellt kan leda till ett tak med andra växter än de köparen tänkt sig.

En viss skillnad mellan tillsatts av torv och biokol i substraten har noterats. Torv tycks ha varit bättre under etableringsprocessen då vatten har tillförts. Inga skillnader mellan de två halterna av organsikt material (3 och 6 %) har setts.

Takjord har använts som referens och verkar ha lite annorlunda egenskaper än de egenkomponerade substraten, *S. album* förefaller etableras bättre på takjord medan *S. spurium* har etableras bättre på de egenkomponerade substraten. Skillnader i bland annat pH och substratstruktur har förmodligen påverkat etableringen och vidare studier inom området är av intresse.

Biokol har rent teoretiskt många av de egenskaper som krävs av ett organiskt material till gröna tak substrat. I det här försöket har biokol som organiskt material bara skilt sig signifikant från torv i ett fall. Ett substrat innehållande torv och biokol skulle vara intressant för vidare långtidsstudier för att studera hur dessa integrerar med och kompletterar varandra i avseende på substratets bördighet.

Även de kemiska och fysikaliska egenskaperna samt dess förändring över tid hade varit intressant att undersöka. Vidare studier behövs för att se om biokol är ett lämpligt organiskt material i substrat för gröna tak på lång sikt.

5. Referenser

1. Alsanius B. W., Krtiz G. (2005) *Substratkompendium – Sammanställning av grundläggande komponenter för hortikulturella odlingssubstrat* 1:a upplagan Repro SLU Alnarp.
2. BaraMineraler. Hemsida. [online] (2010-04-20) Tillgänglig: <http://www.baramineraler.se/swe/hekla-pumicestone-products-2> (2010-04-20)
3. Begtsson L., Grahn L., Olsson J. (2005) *Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden*, Nordic Hydrology 36 259-268
4. Bennström A. 2010-05-07. E-post korrespondens med författaren.
5. Brander P-E., Nyman Eriksen E., Thejsen J., (2004) *Planteskolebogen–Fysiologi, formering og dyrkning*. Biofolia.
6. Dunnet, N. & Kingsbury, N. (2008). *Planting green roofs and living walls*. Timber Press.
7. Emilsson, T. (2006) *Extensive Vegetated Roofs in Sweden – Establishment, Development and Environmental Quality*. Diss. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet (ISBN 91-576-7086 -2).
8. Emmaljunga Torvmull AB, produktionsfrågor, Vittsjö, telefonsamtal maj 2010.
9. Eriksson J., Nilsson I., Simonsson M., (2005) *Wiklanders Marklära*. Studentlitteratur, Lund.
10. FLL., (2002) *Guideline for the Planning, Execution and Upkeep of Green-Roof Sites* Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. Bonn. p. 49
11. Fransson, Christina., Produktionsledare på Veg Tech i Fagerås, Samtal 2010-04-13
12. Getter K-L., Rowe B., (2006) *The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development*, Hortscience 41(5):1276-1285.
13. Kyzzyakov Y., Subbotina I., Chen H., Bogomolova I., Xu X., (2008) *Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ¹⁴C labeling* Soil Biology & Biochemistry doi:10.1016/j.soilbio.2008.10.016
14. Naturhistoriska riksmuseet, den virtuella floran. Hemsida [online] (2009-05-11) <http://linnaeus.nrm.se/flora/di/crassula/sedum/seduspu.html> [2010-04-25]
15. Naturhistoriska riksmuseet, den virtuella floran. Hemsida [online] (2003-08-19) Tillgänglig: <http://linnaeus.nrm.se/flora/di/crassula/sedum/sedualb.html> [2010-04-25]
16. Nicholas D. VanWoert, D. Bradley Rowe, Jeffrey A. Andersen, Clayton L. Rough, & Lan Xiao Hortscience (2005) *Watering Regime and Green roof Substrate Design Affect Sedum Plant Growth* 40(3):659-664.
17. Okimori Y., Ogawa M., Takahashi F., (2003) *Potential of CO₂ Emission Reductions by Carbonizing Biomass Waste From Industrial Tree Plantation in South Sumatra, Indonesia* Mitigation and Adaption Strategies for Global change 8: 261-280.
18. Piccolo, A., Pietramellara, G., Mbagwu J. S. C. (1997) *Reduction in soil loss from erosion-*

- susceptible soils amended with humic substances from oxidized coal* Soil Technology Volume 10, Issue 3, Pages 235-245.
19. Raven P-H., Evert R-F., Eichhorn S-E., (2005) *Biology of Plants* seventh edition, W.H. Freeman and Company Publishers.
 20. Roth-Kleyer, S. (2001). Vegetationstechnische Eigenschaften mineralischer Substratkomponenten zur Herstellung von Vegetationstrag- und Dränschichten für bodenferne Begrünungen. Dach + Grün 10, 4-11.
 21. Sailor D.J., Hutchinson D., Brkovoy L., (2008) *Thermal property measurements for ecoroof soils common in the western U.S.* Energy and Buildings 40, 1246-1251
 22. Snodgrass E. C., & Snodgrass L. L., (2006) *Green roof plants- a resource and planting guide*. Timber Press.
 23. Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., & Bol Roland (2009) Biochar, climate change and soil: A review to guide future research *CSIRO Land and Water Science Report* 05/09 64pp..
 24. Stephenson R. (1994) *Sedum: Cultivated Stonecrops*. Timber Press
 25. Veg Tech, produktblad, takvegetation-sedumtak (Februari 2010) Hemsida [online] <http://www.vegtech.se/sv/katalog---publikationer.aspx> Tillgänglig: (2010-05-20)
 26. Wardle, D. A. Nilsson, M-C. Zackrisson, O. (2008) *Fire-derived charcoal causes loss of forest humus*. Science Vol 320, 629.